

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07328860 A**

(43) Date of publication of application: 19 . 12 . 95

(51) Int. Cl.

**B23P 17/00**  
**C21D 7/06**  
**G21C 13/00**

(21) Application number: **06129200**

(22) Date of filing: 10 . 06 . 94

(71) Applicant: **BABCOCK HITACHI KK HITACHI LTD**

(72) Inventor: **SATOU KAZUNORI  
MANABE FUMIO  
SHIGEHIO KATSUYA  
MATSUBARA TOSHIO  
KUROSAWA KOICHI**

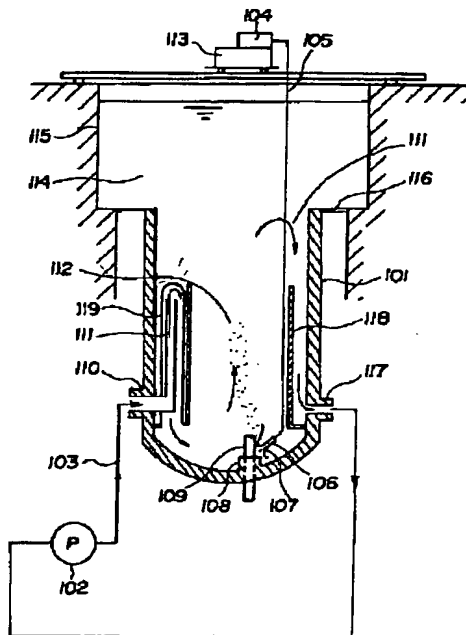
(54) **WATER JET PEENING DEVICE AND WATER JET PEENING METHOD**

(57) Abstract:

PURPOSE: To optimize a water temperature level of cooling water in a furnace, and adjust a bubble core.

CONSTITUTION: In a water jet peening method to improve residual stress of a nuclear reactor pressure vessel structure by colliding an underwater high speed water jet 107 causing cavitation, a nuclear reactor cooling water recirculating pump 102 is driven before peening construction work or in the peening construction work, and cooling water is circulated in a furnace and a cooling water loop.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



Debby Walczak

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-328860

(43) 公開日 平成7年(1995)12月19日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 3 P 17/00	A			
C 2 1 D 7/06	Z	8821-4K		
G 2 1 C 13/00		9216-2G	G 2 1 C 13/ 00	A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平6-129200

(22) 出願日 平成6年(1994)6月10日

(71) 出願人 000005441

バブコック日立株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番2号

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 佐藤 一教

広島県呉市宝町3番36号 バブコック日立

株式会社呉研究所内

(72) 発明者 真鍋 二三夫

広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立

株式会社呉工場内

(74) 代理人 弁理士 武 顯次郎

最終頁に続く

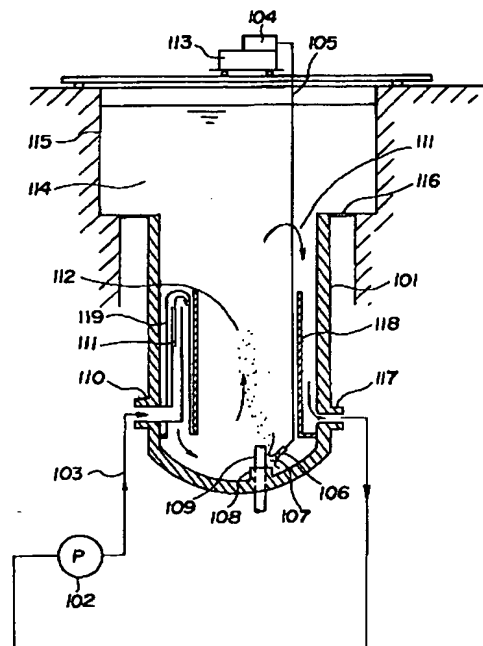
(54) 【発明の名称】 ウォータージェットピーニング装置およびウォータージェットピーニング法

## (57) 【要約】

【目的】 炉内冷却水の水温レベルを適正化し、また、気泡核の調整を図ることができるウォータージェットピーニング装置およびウォータージェットピーニング法を提供する。

【構成】 キャビテーションを伴う水中高速水噴流107を衝突させることにより、原子炉圧力容器構造物の残留応力改善を行うウォータージェットピーニング法において、ピーニング施工前あるいはピーニング施工中に、原子炉冷却水再循環ポンプ102を駆動し、炉内および冷却水ループ内で冷却水を循環させる。

【図1】



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 キャビテーションを伴う水中高速水噴流を衝突させることにより、原子炉压力容器構造物の残留応力改善を行うウォータージェットピーニング装置において、

ピーニング施工前あるいはピーニング施工中に、原子炉冷却水再循環ポンプを駆動する手段を設けたことを特徴とするウォータージェットピーニング装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載において、前記冷却水の炉内冷却温度を、その冷却水系の水圧に対応する凝固温度以上でかつ飽和温度未満のサブクール度に設定することを特徴とするウォータージェットピーニング装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 記載において、原子炉冷却水中に温度測定手段を設けたことを特徴とするウォータージェットピーニング装置。

【請求項 4】 キャビテーションを伴う水中高速水噴流を衝突させることにより、原子炉压力容器構造物の残留応力改善を行うウォータージェットピーニング法において、

ピーニング施工前あるいはピーニング施工中に、原子炉冷却水再循環ポンプを駆動し、炉内および冷却水ループ内で冷却水を循環させることを特徴とするウォータージェットピーニング法。

【請求項 5】 請求項 4 記載において、前記冷却水の炉内冷却温度を、その冷却水系の水圧に対応する凝固温度以上でかつ飽和温度未満のサブクール度に設定することを特徴とするウォータージェットピーニング法。

【請求項 6】 請求項 4 および 5 記載において、原子炉冷却水中に温度測定手段を設け、設定基準温度との偏差を基に冷却水再循環ポンプを駆動し、炉内冷却水の温度を調整することを特徴とするウォータージェットピーニング法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、キャビテーションを伴う水中高速水噴流を衝突させることにより、原子炉压力容器構造物の残留応力改善を行うウォータージェットピーニング装置およびウォータージェットピーニング方法に係り、特に炉内水温を好適なピーニング施工条件にするための水温制御および炉内水の攪拌技術に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】応力腐食割れ（SCC）を起こすポテンシャルのある構造物に対して、鋼球（ショット）を気流の勢いを借りて吹きつけるショットピーニングによる処理を行うことにより、残留応力を引張方向から圧縮方向へ改善するピーニング方法が知られている。

【0003】このピーニング技術は、残留応力除去対策として、各種機械構造物あるいは部品加工時に広く用いられている。

【0004】しかし、このようなショットピーニング操作のできない環境でありながら、是非ともピーニングしなければならない構造物もある。その代表例が、軽水炉の如く冷却水を張ったような特殊な大型熱交換器である。水を抜くことは難しい作業であるし、ショットの回収は不可能に近い。鋼球の代わりに氷粒を用いれば（クライオブラストと呼ばれる）回収は不要であるが、経済的なメリットが出にくいし、施工部位が氷粒で冷却され、熱応力が発生する可能性や、局所的な低温脆性破壊（亀裂）が生じる恐れがある。

【0005】高速ウォータージェットの利用は、ユニークな加工、採鉱、あるいは洗浄技術として知られるが、これを表層応力改善に利用する試みが特開昭 62-63614 号公報に開示されている。水噴流によるピーニングは、水冷効果もあって、局所的な温度上昇を防げるというメリットもある。

【0006】しかし、これは水噴流の軸上動圧力を有効に利用できる大気（気相）中の作業であり、この技術を水中水噴流によるピーニングとしてそのまま適用できる保証はない。水中では噴流軸動圧力の減衰がかなり速い。これは周囲水の抵抗と同相であるがために噴流の拡散が速いことに起因する。水中で気相中噴流なみの軸上動圧力を得るためには、超高压が必要になり、コスト的にも大変不利な技術になってしまう。

【0007】一方、水中水噴流には、噴流と周囲水との剪断作用によるキャビテーションが発生する。このキャビテーションをうまくコントロールして発生した気泡を効果的に利用できれば、あまり噴射圧力を高めずに（すなわち、超高压ポンプを用いずに）、気相中水噴流なみの効果を上げることができると考えられる。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】水中の高速水噴流には激しいキャビテーションが発生する。停止中の原子炉压力容器の冷却水中において、溶接部を中心とする構成材に対し、前述のようなキャビテーションを伴う高速水噴流を衝突させれば、残留応力を引張方向から圧縮方向へと改善することができる。

【0009】このような施工例を図 7 に示す。一般にこの技術をウォータージェットピーニング（WJP）と呼んでいる。なお、図において、701 はノズル、702 は高压水、703 はキャビテーションを伴う水中水噴流、704 は下鏡、705 は炉内冷却水、706 は貫通円管体、707 はスタブチューブ、708、709 は溶接部である。

【0010】原子炉压力容器内の冷却水中でピーニング施工する場合、この压力容器が巨大であるため、容器の高さ方向に対して、水温や水中の含有基体量（キャビテーションの気泡核となる）に大きな分布が生じる。これら水温や含有基体量は、キャビテーションの形態に対して重要な役割を果たす。

【0011】まず、水温の影響について述べる。炉内の冷却水の水温が凝固点（氷点）に近ければ、水中に浮遊する気泡核の揺らぎも小さく、キャビテーション気泡は活性化されず、数少ないながら成長してもその成長速度は遅く、材料に及ぼす力学的影響力も乏しい。

【0012】一方、炉内冷却水の平均的水温が飽和温度（沸騰点）に近い場合、もし、水中に局所的な温度の偏差があれば、僅かな水中の乱れによって沸騰（boiling）が起き始める。

【0013】特に、水中高速水噴流のように著しく激しい乱れを伴う場合には、このような沸騰現象が活発になってくる。炉内冷却水中にある気泡核が、沸騰現象に費やされれば、いわゆる水からの「脱気」効果になってしまい、結果的にキャビテーションは抑制される。

【0014】以上のような問題のために、ピーニング施工に際しては、炉内冷却水を適切な水温範囲に調節する必要がある。ピーニング施工に対しては、周囲水圧が大気圧に近い炉胴体の上方部の場合を例にとれば、水温は10～90℃の範囲に、さらに望ましくは40～60℃の水温領域にコントロールするのがよい。

【0015】しかるに、定期点検で原子炉を停止すると、炉内冷却水の水温は低下し続けるが、ピーニング施工前あるいはピーニング施工中に昇温する必要がある。

【0016】図6に示すような投げ込みヒータ方式では、巨大な熱容量を有する原子炉に適用する場合、水温の上昇速度が遅く、最適な水温に達するまでに長時間待機しなければならない。作業者が格納容器を外した建屋内で待機することを考慮すれば、被爆抑制という観点から好ましいとは言えない。

【0017】また、同じく図6のような攪拌器618を用いても、炉内の冷却水中に大きな循環流れは作りにくい。結果的に図6のような施工システムは、小型の設備を対象とする場合には適しているが、原子炉圧力容器全体を対象とするケースでは効果的とはいえない。

【0018】なお、図6において、601は容器、602はノズル、603は激しいキャビテーションを伴う噴流、604は加工対象物、605は高圧噴射ポンプ、606は貯水槽、607は熱源、608はヒータ（あるいはクーラ）、609はヒータヘッド、610はヒータ（あるいはクーラ）、611は循環ポンプ、612はバルブ、613はフィルタ、614はリザーバ、615は水、616は温度センサ、617はコントローラ、619は温度センサ、620はコントローラ、621は水である。

【0019】一方、炉内の冷却水中には、キャビテーション気泡核が量的な分布を以て存在している。炉内挿入物を出し入れするために、空気が溶け込む冷却水の水面近くは含有気体量が多い。

【0020】これに対し、圧力容器の底部では、逆に含有気体量が少なくなっている。実際の冷却水水面は、圧

力容器胴体の上部にあるウエル（井戸状構造体）にあるため、そこの含有気体がキャビテーション気泡核として特に炉底部のピーニング施工に寄与することは実質的にあり得ない。従って、圧力容器の冷却水を大規模に強制循環させてやる必要がある。

【0021】水中において、キャビテーション現象を利用してピーニング施工する場合、多くのキャビテーション気泡は潰れて消滅するが、一部の気泡が炉内冷却水中に残り浮遊する。原子炉の再起動時を考えれば、これらの気泡を速やかに水面から排出しなければならない。

【0022】即ち、フラッシング（脱気）作業をできるだけ短縮したい訳であり、このことから炉内冷却水中に大規模な循環を強制的に作り出す必要がある。

【0023】原子炉のような大型容器の場合、軽水炉の炉内冷却水循環システムをうまく利用するのが得策である。

【0024】本発明の目的は、上記した問題点を解決し、炉内冷却水の水温レベルを適正化し、また、気泡核の調整を図ることができるウォータージェットピーニング装置およびウォータージェットピーニング法を提供することにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】上記した問題点を解決するために、以下のような構成、方法を採用する。

【0026】すなわち、ピーニング施工前あるいはピーニング施工中に、原子炉に付設されている再循環ポンプにより、冷却水ループ〔原子炉圧力容器（RPV）再循環水出口ノズル→再循環ポンプ→RPV再循環水入口ノズル〕に冷却水を循環し、冷却水の温度をコントロール（主として上昇）する。

【0027】また、再循環ポンプにより炉内冷却水を攪拌することにより、

（1）炉内水温の分布をなくして均一化する。

（2）含有気体量（キャビテーション気泡核の量）の分布をなくし均一化する。

このような手法を用いることで、炉内冷却水中において、局所的な高温部（沸騰点に達する部分）あるいは低温部が消滅し、また、気泡核量も極端に多い個所や少ない領域もなくなり、水中水噴流に発生するキャビテーション状態の再現性が確保される。

【0028】

【作用】上記した本発明による手段を用いると、即ち、WJPの施工前あるいはWJPの施工中に、再循環ポンプにより炉内冷却水を冷却水ループ内において循環することにより、以下に記すようなWJP施工にとって有効な作用が生じる。

【0029】（1）再循環ポンプの摩擦熱により水が加熱されるため、炉内水温がWJP施工にとって好適な条件まで迅速に上昇する。この好適な水温範囲は、例えば水面から僅かに浅い施工箇所の場合には周囲水圧は大気

圧にほぼ等しく、40～60℃である。

【0030】特にこの水温領域において、キャビテーションが活発になる。この水温域では、気泡核の揺らぎが著しくなり、また、気泡の成長速度や圧壊速度が増大し、さらに水の粘性低下のために気泡が水中を動きやすくなる。

【0031】このような作用により、水中水噴流に伴うキャビテーションのパワーが増強すると、WJP施工による残留応力の改善効果が大きくなる。再循環ポンプを用いれば、短時間のうちに水温を上昇させることが可能である。再循環ポンプを用いない他の方式に比べれば、水温設定までの時間が著しく短くて済む。

【0032】(2) 再循環ポンプで冷却水を循環させることにより、軽水炉压力容器内の冷却水が攪拌される。この強制対流の作用により、炉内の水温が均一化する。局所的な冷水域あるいは沸騰点に近い高温域もなくなるので、(1) に述べた水温領域よりもさらに低温側および高温側でも、キャビテーション・インテンシティが高まり、WJPの施工性能が向上する。炉内水が様な温度になるので、炉内構造物の色々な部位を一度に加工できるようになる。また、各部位の残留応力改善量も一定になり、加工の信頼性も上がる。

【0033】(3) 上記(2)と同様の再循環ポンプによる攪拌作用により、炉内冷却水中の含有気体量も均一になる。従って、キャビテーション気泡核の分布も均一になる。攪拌作用がない場合、水面に近い個所では含有気体量が多く、逆に炉底部には少ない、というきらいがあった。従って、攪拌作用により、炉底部の溶接部位のWJP施工性能が向上する。

【0034】(4) 攪拌作用の一つとして、炉内水中に上昇流れが生じる。これによって、残存気泡(キャビテーションが消滅した後に残る比較的大きな気泡で、水中含有気体が気体塊として析出したもの)を浮上させて、水面から除去することができる。

【0035】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

【0036】図1は、本発明を具体化した原子炉压力容器内のWJP施工の一例を示すものである。

【0037】定期点検のために停止している原子炉において、上鏡を取り外し、冷却水114をウエル115の上部まで張った状態にしている。ピーニング用の水として、原子炉冷却水ループ以外の純水、もしくは炉内冷却水が直接用いられる。この水は、高圧噴射ポンプ104により昇圧され、高圧水供給ライン105を通じて炉内へ導かれ、ノズル106から冷却水114の中へ高速で噴射される。冷却水114中の高速噴流には激しいキャビテーションが発生する。

【0038】この実施例における加工部位は、炉底(下鏡板)におけるスタブチューブ108の熱影響部(溶接

部)である。

【0039】本発明の特徴は、このピーニング施工の直前(高圧水を噴射する直前)もしくはピーニングの際中に、原子炉に付帯する再循環ポンプ102を駆動し、炉内で冷却水114を循環させることである。

【0040】この実施例では、原子炉压力容器101の外部に再循環ポンプ102を設けたが、改良型軽水炉(ABWRもしくはAPWR)では後述するように、原子炉压力容器に内装した再循環ポンプ[内部(インターナル)再循環ポンプ]を利用する。

【0041】冷却水114は、原子炉压力容器101の再循環水出口ノズル117から出て、冷却水循環ライン103を通り、再循環ポンプ102により昇圧され、再循環水入口ノズル110を通じて炉内に入り、ジェットポンプ119を経て原子炉压力容器101の底部へ再流入する。

【0042】このようにして再流入した冷却水114は、炉内において循環流や上昇流を作り出す。さらに、この冷却水114は、再循環流量が多いほど温度上昇は速く、また、再循環ポンプ102の作動時間が長いほど冷却水114の水温は高く上昇する。

【0043】このようにして、再循環ポンプ102を運転することにより、炉内水温をピーニングに最適な範囲内へと導くわけである。

【0044】一方、原子炉压力容器101内における冷却水114の炉内における循環・上昇作用は、炉内の水温分布を平均化し、また、炉内の含有気体量の偏在も解消する効果がある。

【0045】なお、図1において、107は水中高速水噴流、109はハウジングチューブ、111は循環流、112は浮上する気泡、113は燃料交換台車、116は水封部、118は炉心シュラウドである。

【0046】図2には、原子炉压力容器201内に内部再循環ポンプ202を設けた改良型軽水炉におけるピーニング施工の実施例を示す。

【0047】この炉においては、昇温する冷却水213内に、内部再循環ポンプ202があるため、ポンプ自体の昇温も速く、炉内の冷却水213の上昇速度も大きい。

【0048】従って、図2のような改良型炉では、温度設定を迅速に行うことが可能である。

【0049】なお、図2において、204は高圧噴射ポンプ、205は高圧水供給ライン、206はノズル、207は水中高速水噴流、208はサポート部位、210は循環流、211は浮上気泡、212は施工足場、214はウエル、215は炉心シュラウドである。

【0050】図3は、炉内冷却水302の水温 $T_w$ と気体含有量 $\alpha$ の炉高方向に対する変化をまとめたものであり、再循環ポンプを運転することによる効果を示すものである。

【0051】再循環ポンプを運転する前（無対策の場合）は、冷却水 302 の水温  $T_w$  は全般的に低く、自然対流の影響により、水面 303 に近いほど高く、炉底 304 に近づくほど低いという傾向がある。

【0052】これに対して本発明の実施例のように、再循環ポンプを用いる場合には、水温  $T_w$  のレベルが適正值まで上昇し、さらに炉高方向による偏差も極めて小さくなっていることがわかる。

【0053】一方、気体の含有量は、無対策の場合、冷却水 302 の水面 303 が最も多く、炉底 304 で最少となる分布になっている。

【0054】これに対して本発明の実施例の場合は、炉高方向に対する気体含有量の偏在がなくなり、極めて平均化されている。

【0055】以上の水温  $T_w$  ならびに気体含有量  $\alpha$  の均等化は、再循環ポンプにより炉内が攪拌・循環されたためである。なお、図中の 301 は原子炉压力容器を示す。

【0056】炉内冷却水の水温  $T_w$  は、前述したように、ウォータージェットピーニングの施工効率が十分確保できる条件に設定する。

【0057】図 4 に示すように、ピーニング施工に際し、平均水温  $T_w$  の範囲を、系圧力（周囲水圧のことであり、炉の加工部位によって異なる）に相当する飽和温度（沸騰点） $T_{sat}$  から、 $10^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$  の範囲のサブクール度の領域に設定する。飽和温度  $T_{sat}$  - 水温  $T_w < 10^\circ\text{C}$  の条件になると、部分的な沸騰現象が始まるので、キャビテーション現象を有効に活用しようとする観点からは適切ではない。

【0058】また、飽和温度  $T_{sat}$  からのサブクール度をあまり大きく取り過ぎると、系圧力相当の水の凝固温度（氷点あるいは融解点） $T_{sol}$  に近づいてしまう。

【0059】以上のような水温  $T_w$  の設定範囲は、圧力容器の水面に近い場合（図 1 および図 2 では、ウエルの上部まで冷却水を満たしているが、この水位を下げることを想定する）で、系圧力がほぼ大気圧に等しい条件で、 $10^\circ\text{C} < T_w < 90^\circ\text{C}$  となる。

【0060】即ち、大気圧下の飽和温度  $T_{sat} = 100^\circ\text{C}$  であるので、この温度から  $10^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$  のサブクール度であれば、 $T_w$  の範囲は  $10^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$  になる訳である。

【0061】図 5 は、水温  $T_w$  とキャビテーションの強さ（インテンシティ）の関係を模式的にまとめたものである。水中水噴流におけるキャビテーション・インテンシティの評価には、様々な手法が用いられるが、例えば、（１）壊食（エロージョン）によって破壊・脱離した破片のトータル質量、（２）感圧フィルム上の衝撃圧レベル、（３）キャビテーションを伴う高速水噴流を衝突させる前と後における残留応力の改善量、（４）発生

するノイズのパワー、等により求まる物理量が、キャビテーション・インテンシティと見做することが可能である。

【0062】図 5 の結果から明らかなように、水温  $T_w$  の増加とともにキャビテーション・インテンシティは増大し、ピークに達した後は  $T_w$  とともに減少する傾向がある。

【0063】再循環ポンプを利用しない従来技術（無対策）の場合、水温  $T_w$  が凝固点あるいは飽和温度（沸点）に近い領域において、キャビテーション・インテンシティが急激に低下する。

【0064】これに対して本発明の場合は、上記したピーニング施工の水温  $T_w$  の範囲における上、下限に近い領域において、キャビテーション・インテンシティが増加している。この増加が、本発明を実施したことによる効果である。

【0065】キャビテーション・インテンシティが増加した理由は、炉内水中に局所的な温度や気体含有量の偏在がなくなり、発達しかけたキャビテーションが減衰するようなことが極めて起こりにくくなるためと考えられる。

【0066】例えば、静水中に局所的な高温部と低温部があったとすると、高温部ではキャビテーションを減衰させるような大気泡が発生し、一方、低温部ではキャビテーション気泡が消滅してしまう可能性がある。

【0067】従って、再循環ポンプによる攪拌は、ピーニング施工にとって大変効果的といえる。このような水温の偏在は、特に  $T_w$  の上、下限のような微妙な水温領域において、キャビテーションの形態に重要に係わってくる。同様の再循環ポンプ利用の効果は、キャビテーションの気泡核となる含有気体量についても成り立つ。局所的に溶解気体の多い水中では、大量に気泡が発生し、クッション効果によりキャビテーションを減衰させるし、溶解気体が少なければキャビテーションの発生も乏しくなる。

【0068】本発明に係るウォータージェットピーニング装置、方法の適用は、実施例として本文中に述べた経年軽水炉の定期点検中（炉は停止している）の施工に限らない。

【0069】例えば、新しく製造した軽水炉の試運転中にも実施することができる。即ち、燃料棒の装填前に冷却水を再循環ポンプでゆっくり循環させながら、炉内構造物における溶接部を対象にウォータージェットピーニング施工を行い、残留応力を改善することが可能である。この場合、一般に水温は低く、ポンプによる循環水量を少なくすれば、 $30^\circ\text{C}$  未満である。

【0070】一方、再循環ポンプによる循環水量を増加させれば、水温は上昇し、水面に近い浅水下の部位では前述したように、キャビテーションが最も活発になる水温領域、即ち、ほぼ  $40 \sim 60^\circ\text{C}$  の温度範囲になる。ま

た、定検中の施工と同様に、この場合においても、ポンプによる炉水循環により、炉内水の含有気体量の偏り、つまり言い換えれば、キャビテーション気泡核分布に偏在がなくなり、W J P 施工の信頼性が確保される。

#### 【0071】

【発明の効果】本発明に係るウォータージェットピーニング装置、ウォータージェットピーニング法による効果をまとめると以下ようになる。

【0072】（１）再循環ポンプにより、冷却水を循環することで、炉内冷却水の温度を迅速に制御（上昇）することができる。

【0073】（２）上記（１）の効果により、キャビテーションの生成・成長が活発になり、W J P にとって最適な領域への水温設定が容易で自在になる。

【0074】（３）上記（２）の効果により、施工効率を高めて、W J P の施工時間を短縮し、ランニングコストを削減することができる。

【0075】（４）上記（２）の効果により、残留応力の改善効果（残留応力の引張方向から圧縮方向への応力改善量）を大きくし、W J P 施工の信頼性を高めることが可能になる。

【0076】（５）炉内冷却水の攪拌作用により、炉内水温を均一化できる。従って、炉内構造物の部位に係わらず、残留応力の十分な改善効果を得ることが可能になる。局所的な温度偏差がなくなるため、W J P の好適施工領域となる水温をより低温側およびより高温側〔加工対象部の位置の周囲水圧に相当する飽和温度（沸騰点）に近い側〕へと拡大することができる。

【0077】（６）上記（５）と同じく、炉内冷却水の攪拌作用により、キャビテーション気泡核が炉内冷却水中に一様に分散するようになる。これによって、炉内のいかなる位置にあっても、気泡核の偏在に起因する加工むらの発生を防ぐことができる。

【0078】（７）W J P 施工中に再循環ポンプを駆動することにより、炉内冷却水中に浮遊する残存気泡を速やかに上昇させて水面から除去することができる。この作用により、加熱水中における二相流励起振動や構造物に発生するキャビテーションの発生を防止できる。 \*

#### \*【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施例に係る停止した原子炉内冷却水の循環、即ち、水温調節および炉内水攪拌の状態を示す模式図である。

【図２】改良型軽水炉を対象にした他の実施例に係る模式図である。

【図３】炉内水温および炉内含有気体量の分布を示す説明図である。

【図４】炉内水圧相当の飽和温度からのサブクール度の表現、および凝固点（氷点）との温度差の表現で、ピーニングに好適な水温の範囲を規定した説明図である。

【図５】水温とキャビテーション強度の関係と、ピーニング施工に好適な温度範囲を具体的に示す説明図である。

【図６】先行技術に係る炉内水温調整法の一例を示す構成図である。

【図７】ウォータージェットピーニング法の基本的概念を示す模式図である。

#### 【符号の説明】

- 101 原子炉压力容器
- 102 再循環ポンプ
- 103 冷却水循環ライン
- 104 高圧噴射ポンプ
- 105 高圧水供給ライン
- 106 ノズル
- 107 水中高速水噴流
- 108 スタブチューブ
- 109 ハウジングチューブ
- 110 再循環水入口ノズル
- 111 循環流
- 112 浮上する気泡
- 113 燃料交換台車
- 114 冷却水
- 115 ウエル
- 116 水封部
- 117 再循環水出口ノズル
- 118 炉心シュラウド
- 119 ジェットポンプ

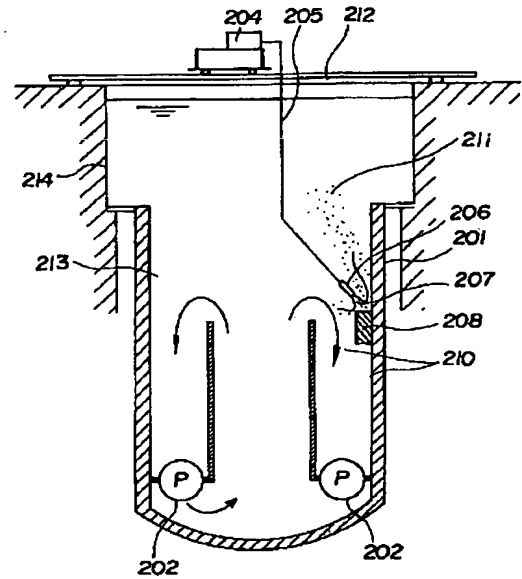
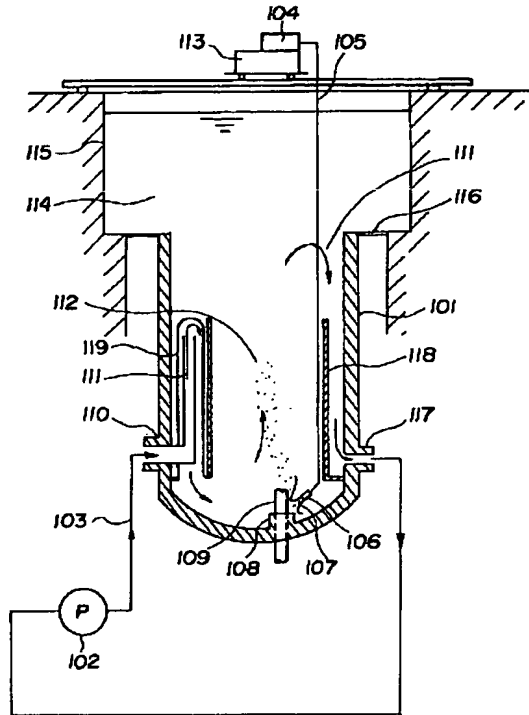


【図1】

【図2】

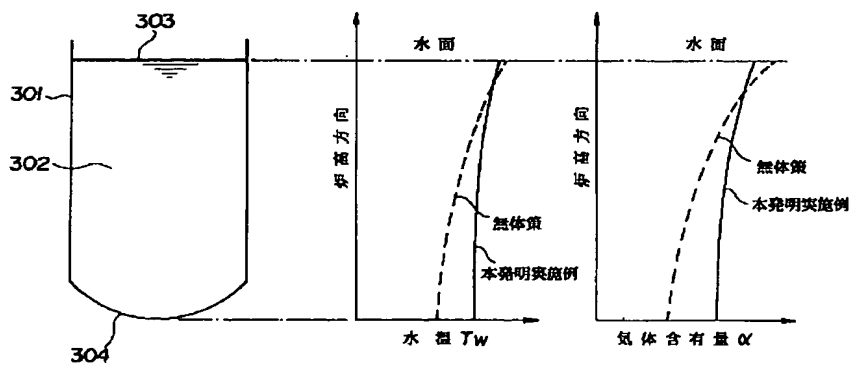
【図1】

【図2】



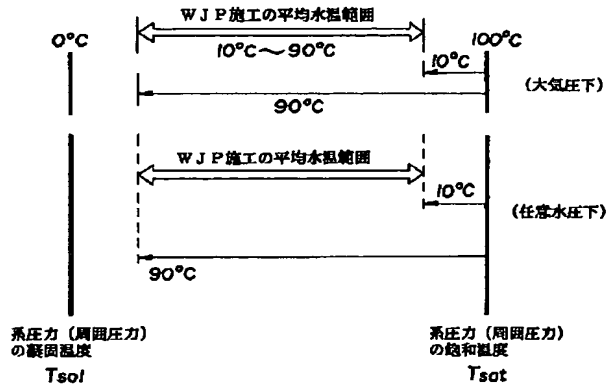
【図3】

【図3】



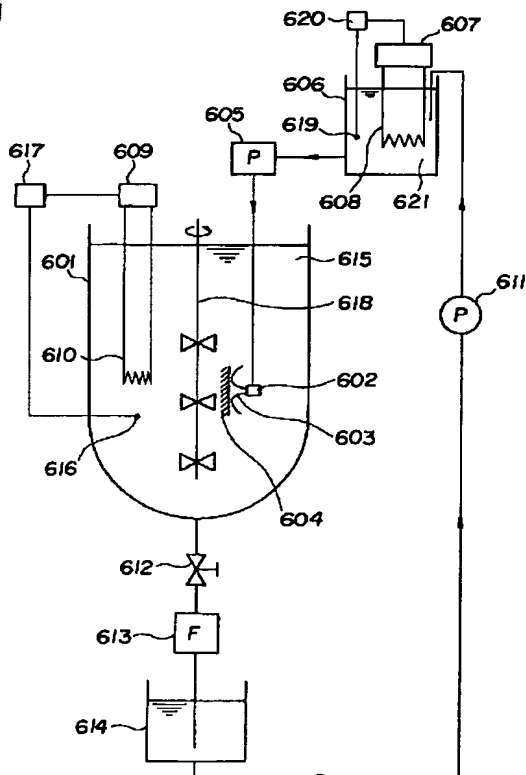
【図 4】

【図 4】



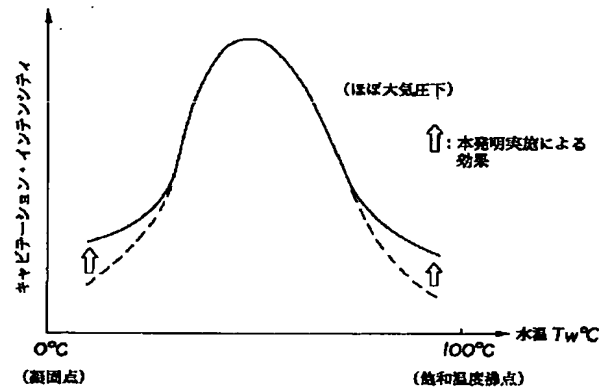
【図 6】

【図 6】



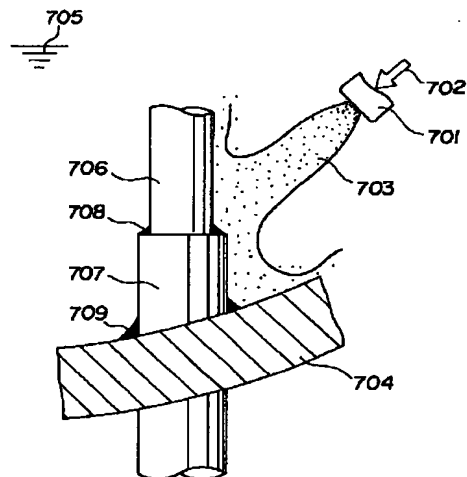
【図 5】

【図 5】



【図 7】

【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 重弘 勝矢  
広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立  
株式会社呉工場内

(72)発明者 松原 敏夫  
広島県呉市宝町6番9号 バブコック日立  
株式会社呉工場内

(72) 発明者 黒沢 孝一  
茨城県日立市幸町三丁目 1 番 1 号 株式会  
社日立製作所日立工場内